

Design, Fabrication and Optimization of Thermal Radiation Detectors Based on Thin Polymer Membranes.

ABSTRACT

The number of applications in which infrared radiation sensors are used is increasing. In some applications, the cost of the sensor itself is an issue, and low-cost solutions are thus required. In this thesis, the investigations have related to the use of thin polymer membranes in thermal infrared sensors, such as bolometers and thermopiles.

Infrared sensors are usually subcategorized into photonic sensors and thermal sensors. For detection of infrared radiation using a photodetector, there is a requirement for low band-gap material. By cooling the sensor, the noise can be reduced. However, this also makes infrared photodetectors rather expensive, and not an alternative for low-cost applications. In thermal sensors, the heat generated from the incident infrared radiation is converted into an electrical output by means of a heat sensitive element. The thermal sensors usually operate at room temperature, which makes them a low-cost alternative. The responsivity and response speed is, on the other hand, higher and shorter respectively in photodetectors. The basic structure of thermal sensors consists of a temperature sensitive element connected to a heat sink through a structure with low thermal conductance. It is common to use thin membranes of Silicon or Silicon Nitride as thermal insulation between the heat sink and the sensitive element. In comparison, polymers have a thermal conductance that is lower than in these materials, and this increases the generated temperature in the sensitive element. The epoxy based photoresist SU-8 has a low thermal conductivity and requires no additional processing equipment. This thesis presents a new application of SU-8 as a closed membrane in a thermal sensor.

The concept was initially demonstrated by fabricating a nickel bolometer and titanium/nickel thermopile structure with a 5 μm SU-8 / SiO₂ membrane. The characterization of these components showed that the concept of SU-8 as a membrane material would work. However, for the sensor responsivity to be able to compete with commercial thermal sensors the structures, some optimization was required. Since the thermopile generates its own voltage output and requires no external bias, the optimizations were focused on this structure. In circuit design, it is common to use device optimization. For design optimization of thermopiles with closed membranes, few developed tools exist. An optimization tool using iterative thermal simulations was developed and evaluated. A new thermopile structure, based on the optimization results, was both fabricated and characterized. Using an infrared laser with a small spot, the measured responsivity of the manufactured thermopile was higher than that of a commercial sensor. In the case of a defocused spot and for longer wavelengths, the infrared absorption in the absorption layer reduces and degrades the responsivity.

The thermopile was further evaluated as a sensor in a carbon dioxide meter application based on the NDIR principle. An increase in the CO₂ concentration demonstrated a clear decrease in the thermopile voltage response, as was expected. By normalizing the voltage response and comparing it with a commercial sensor, this showed that the SU-8 based thermopile is more sensitive to the CO₂ concentration.

SAMMANDRAG

Antalet applikationer där sensorer för infraröd strålning används ökar. I vissa applikationer är kostnaden för själva sensorn ett problem, och det finns därför ett behov av låg kostnads lösningar. I denna avhandling har användandet av tunna polymermembraner i termiska sensorer, så som bolometer och termopelare, undersökts.

Infraröda sensorer delas vanligtvis upp i undergrupperna, fotoniska sensorer och termiska sensorer. För detektering av infraröd strålning med fotodetektorer behövs ett material med lågt bandgap. Genom att kyla sensorn kan bruset minskas, men detta gör även sensorn ganska dyr och därmed inte ett alternativ för lågkostnadsapplikationer. I termiska sensorer, konverteras värme genererad från den infallande infraröda strålningen till en elektrisk utsignal av ett värmekänsligt element. Termiska sensorer opererar normalt i rumstemperatur, och detta gör dem till ett lågkostnadsalternativ. Fotodetektorer har dock en högre responsiviteten och en kortare svarstid. Den grundläggande strukturen för termiska sensorer består av ett temperaturkänsligt element kopplat till en kylare via en struktur med låg termisk ledningsförmåga. Tunna membran av Kisel eller Kiselnitrid används ofta som termisk isolering mellan kylaren och det känsliga elementet. I jämförelse med material som dessa, har polymerer en lägre termisk ledningsförmåga och detta ökar den generade värmeökningen i värmekänsliga elementet. Den epoxibaserade fotoresisten SU-8 har låg termisk ledningsförmåga och kräver ingen ytterligare processutrustning. Ett nytt tillämpningsområde för SU-8 som membran i en termisk sensor presenteras i denna avhandling.

Konceptet demonstrerades initialt genom att tillverka en nickel bolometer och en titan/nickel termopelare med ett 4 μ m SU-8 membran. Karakteriseringen av dessa komponenter visade att SU-8 som membran kommer att fungera, men för att responsiviteten för dessa sensorer skall kunna jämföras med kommersiella sensorer, behöver strukturerna optimeras. Eftersom termopelaren skapar sin egen utspänning och inte kräver någon extern förspänning, fokuserades optimering till denna struktur. Komponentoptimering är vanligt förekommande inom kretsdesign, men verktyg utvecklade för optimering av termopelare med tunna membran är få. Ett optimeringsverktyg som använder sig av iterativa termiska simuleringar har utvecklats och utvärderats. Baserat på optimeringsresultaten tillverkades och utvärderades en ny termopelare. Genom att använda en infraröd laser med en liten ljuspunkt, uppmättes en högre responsivitet i den tillverkade sensorn jämfört med en kommersiell sensor. Med en defokuserad strålkälla som sänder ut längre våglängder minskar den infraröda absorptionen i absorptionslagret vilket i sin tur degraderar responsiviteten.

Vidare utvärderades termopelaren i en koldioxid mätare som baserar sig på NDIR principen. En ökning i CO₂ koncentrationen visade som väntat en tydlig minskning i den uppmätta spänningen. Genom att normerade spänningen svaret och jämföra med en kommersiell sensor, visade att den SU-8 baserade termopelaren är mer känslig för CO₂ koncentration.